

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Clinique d'Ophtalmologie
Laboratoire de Statistique mathématique

FACULTÉ DE MÉDECINE
Professeur A. Franceschetti
Professeur A. Linder

**LA COURBE STANDARD
ET LES LIMITES PHYSIOLOGIQUES
D'ADAPTATION A L'OBSCURITÉ AU MOYEN
DE L'ADAPTOMÈTRE DE GOLDMANN-WEEKERS**

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Esmond GORDON
de Montréal (Canada)

Thèse N° 2369

Editions Médecine et Hygiène
GENÈVE
1956

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Clinique d'Ophtalmologie
Laboratoire de Statistique mathématique

FACULTÉ DE MÉDECINE
Professeur A. Franceschetti
Professeur A. Linder

**LA COURBE STANDARD
ET LES LIMITES PHYSIOLOGIQUES
D'ADAPTATION A L'OBSCURITÉ AU MOYEN
DE L'ADAPTOMÈTRE DE GOLDMANN-WEEKERS**

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par

Esmond GORDON
de Montréal (Canada)

Thèse N° 2369



Editions Médecine et Hygiène
GENÈVE
1956

*La Faculté de médecine, sur le préavis de Monsieur le professeur
A. Franceschetti, autorise l'impression de la présente thèse, sans pré-
tendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.*

Genève, le 9 avril 1956.

Le doyen :

Fernand CHATILLON

Thèse N° 2369

Nous voulons exprimer notre profonde gratitude à notre Maître, Monsieur le Professeur A. Franceschetti qui nous a inspiré le sujet de cette thèse et qui n'a cessé de nous apporter ses conseils judicieux.

Nous sommes extrêmement reconnaissant à Monsieur le Professeur A. Linder, directeur du Laboratoire universitaire de Statistique mathématique, et à son assistant Monsieur K. Abt pour l'indispensable travail statistique qu'ils ont bien voulu accomplir pour nous.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur le Docteur P. Dieterle, chef de clinique du service d'Ophtalmologie, qui nous a aidé constamment dans nos recherches, ainsi qu'à Monsieur R. Lang, du Laboratoire universitaire de Statistique mathématique, pour son précieux concours.

TO MY DEAR PARENTS

Quand on sort dans la nuit obscure, à la suite d'un séjour dans une pièce brillamment éclairée, on se trouve momentanément aveuglé. Peu à peu, cependant, certains objets brillants se précisent, puis à mesure que le séjour dans l'obscurité se prolonge, des détails de plus en plus nombreux apparaissent.

Ce phénomène, d'observation courante, s'explique par une augmentation de la sensibilité à la lumière des cellules photoréceptrices de la rétine (cônes et bâtonnets) au cours d'un séjour à l'obscurité ou en lumière atténuée. Cette augmentation de la sensibilité de l'œil, caractéristique de la vision nocturne, est connue classiquement sous le nom d'adaptation à l'obscurité.

La première description scientifique du phénomène, ainsi que le terme 'adaptation' revient à AUBERT. En 1865, il a estimé le seuil de l'excitation de l'œil à l'obscurité, en mesurant le courant électrique nécessaire pour rendre l'incandescence d'un fil de platine visible. L'augmentation de la sensibilité de l'œil à l'obscurité, ainsi déterminée était de l'ordre de 35 fois. L'adaptométrie était née. Depuis, de très nombreux travaux lui ont été consacrés ¹.

Aujourd'hui l'adaptométrie, l'étude quantitative de l'adaptation à l'obscurité, consiste à mesurer par moyens photoélectriques précis, le seuil de luminance d'une plage test à divers instants à partir du moment où le sujet a été placé dans l'obscurité après l'éclairement de l'œil dans des conditions standards (éclairage préalable ou adaptation préalable à la lumière). Les résultats sont transcrits sur graphique, en une courbe d'adaptation à l'obscurité.

¹) On trouvera une excellente bibliographie dans «La Vision Nocturne et ses Troubles» (1950) de JAYLE, G. et OURGAUD, A.

La transcription graphique des données adaptométriques peut être faite de plusieurs façons. Dans tous les modes de représentation graphique, le temps passé à l'obscurité est porté en abscisse; c'est l'expression portée en ordonnée qui varie. Les premiers expérimentateurs transcrivaient leurs résultats soit sous forme de courbes de sensibilité (PIPER, NAGEL), portant l'inverse du seuil en ordonnée; soit sous forme de courbes du seuil, portant le seuil en ordonnée. Ces modes de transcription donnent des courbes régulières qui masquent un caractère fondamental de l'adaptation à l'obscurité: la discontinuité du processus. A partir de 1921, HECHT et KOHLRAUSCH ont démontré le caractère biphasique du phénomène en portant le logarithme du seuil en ordonnée. En fait, la transcription des données anciennes de PIPER sur un système de coordonnées semi-logarithmiques (HECHT, 1938) mettait en évidence deux tronçons de la courbe qui correspondent aux deux phases du processus d'adaptation à l'obscurité.

Ceci explique que les rôles respectifs des deux types de cellules photoréceptrices de la rétine dans le processus d'adaptation à l'obscurité ont échappé aux premiers auteurs. Pour eux, le phénomène d'adaptation à l'obscurité s'est expliqué par une augmentation de la sensibilité des bâtonnets seuls; ils ont nié toute participation des cônes dans le processus. Les travaux fondamentaux de HECHT et de KOHLRAUSCH ont jeté une lumière sur le véritable mécanisme de l'adaptation à l'obscurité; aujourd'hui, il n'est plus permis de douter de la participation des cônes au phénomène. Actuellement, on admet que le processus d'adaptation à l'obscurité se déroule en deux phases; la première phase, appelée adaptation primaire, résulte d'une augmentation de la sensibilité des cônes et donne naissance au premier tronçon de la courbe; la deuxième phase, appelée adaptation secondaire, résulte d'une augmentation de la sensibilité des bâtonnets et donne naissance au deuxième tronçon de la courbe d'adaptation à l'obscurité (figure 1)¹.

¹) La vision par l'intermédiaire des cônes s'appelle la vision photopique; la vision par l'intermédiaire des bâtonnets s'appelle la vision scotopique. Pour un individu donné, la valeur du seuil pour le point α (point de passage du premier au deuxième tronçon de la courbe d'adaptation à l'obscurité) varie avec la partie de la rétine examinée. Ces variations du seuil pour le point α délimitent une zone de luminance où les cônes et bâtonnets fonctionnent ensemble: c'est la zone de vision mésopique (voir fig. 1).

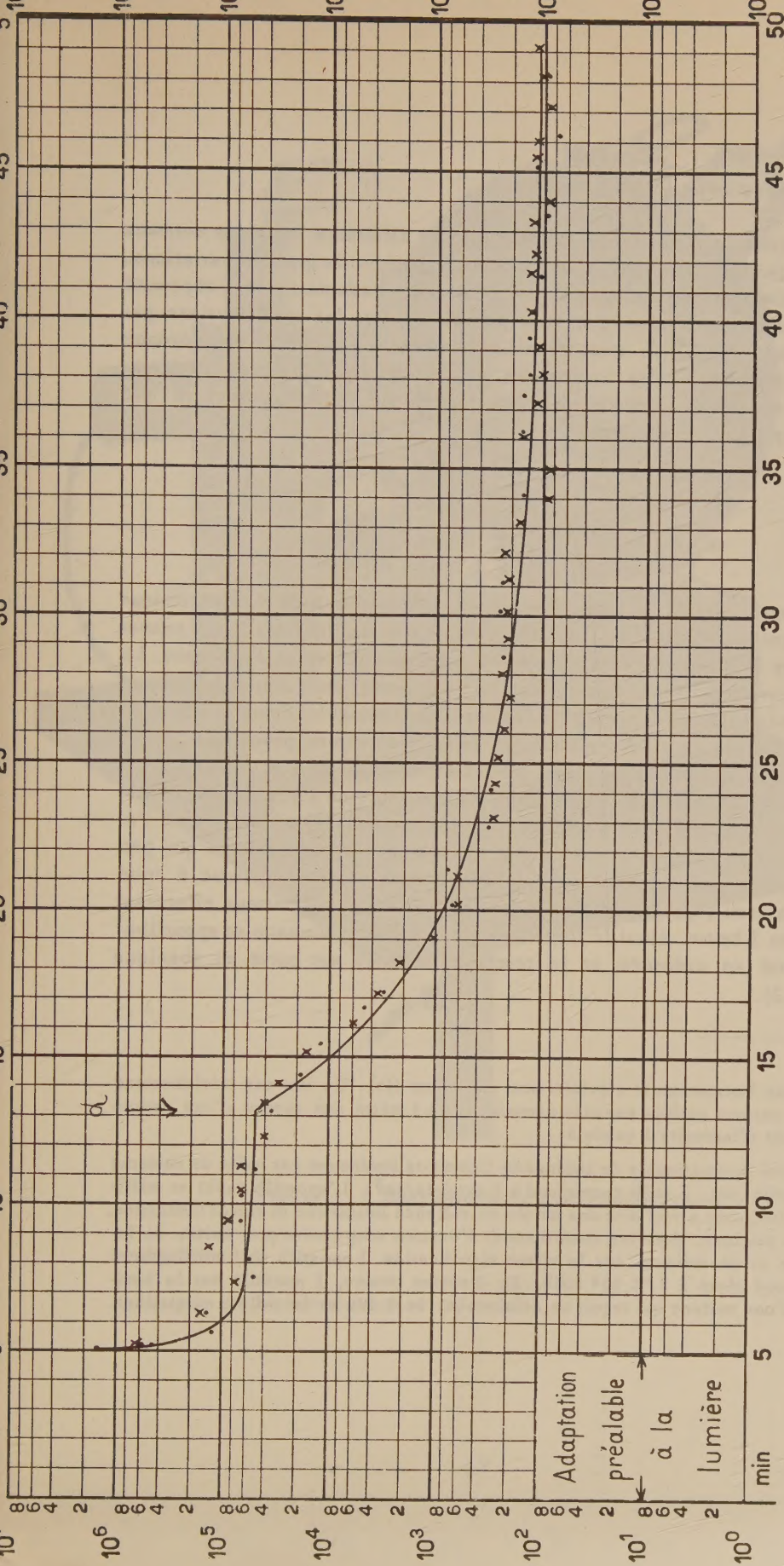


Figure 1 — Courbe d'adaptation à l'obscurité d'un sujet normal au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. Les deux tronçons de la courbe et leur point de passage, le point angulaire α , sont évidents. En abscisse, le temps en minutes depuis le début d'adaptation préalable à la lumière; en ordonnée le seuil de luminance de la plage test en apostilbs (107 correspond à 3,30 apostilbs de luminance des stries blanches de la plage test; l'échelle est logarithmique). Le sujet est une fillette de 12 ans; les résultats de l'examen adaptométrique de l'œil droit (.....) et de l'œil gauche (x x x x x) montrent la petite variation entre les courbes d'adaptation à l'obscurité des deux yeux d'un même individu (la courbe en trait plein est calculée pour l'œil droit). Les conditions de l'examen adaptométrique sont celles décrites dans le texte; les deux yeux ont été examinés successivement et les résultats réunies sur un même graphique. L'échelle du graphique est la même que celle de l'original.

Le but de ce travail.

Les courbes d'adaptation à l'obscurité de différents individus normaux ne sont jamais identiques, elles présentent parfois de grandes variations. Ces variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité doivent être précisées si l'on veut pouvoir étudier les modifications pathologiques. Le but de notre travail est de déterminer une courbe moyenne (courbe standard) et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers que nous employons en clinique.

APPAREILLAGE ET TECHNIQUE

L'adaptomètre de Goldmann-Weekers comporte une cellule photoélectrique et un système d'éclairage finement réglable (de 6×10^{-7} lux¹) qui permet de varier la luminance d'une plage test avec une précision rigoureuse. La plage test ferme une ouverture dans la paroi postérieure d'une sphère qui comprend un jeu de lampes pour l'éclairage préalable. Pendant l'éclairage préalable un rideau métallique ferme l'ouverture postérieure de la sphère, couvrant ainsi la plage test. La variation de l'éclairage et par conséquent la luminance de la plage test au cours de l'adaptation à l'obscurité est accomplie par un bouton de changement logarithmique de l'éclairage. Ce bouton est couplé avec un bouton d'enregistrement qui permet l'inscription directe des résultats sur un papier graphique à coordonnées semi-logarithmiques fixé sur un tambour enregistreur effectuant 1 tour en 1 heure. Ainsi le logarithme du seuil de luminance en apostilbs¹ est porté en ordonnée et le temps en minutes est porté en abscisse (figure 2).

¹) L'unité internationale d'éclairement est le lux (lx). Un lux est l'éclairement produit sur une surface exposée normalement à 1 mètre aux rayons d'une source lumineuse d'intensité 1 candela.

L'unité internationale de luminance (intensité lumineuse par unité de surface) est le stilb (sb). 1 stilb correspond à 1 candela/cm². L'apostilb (asb) et millilambert (ml) sont à vrai dire des unités de radiance lumineuse et non de luminance. Mais en pratique, dans les conditions de l'examen adaptométrique, unités de luminance et de radiance ont la même signification. 1 apostilb (0,1 millilambert) correspond alors à $1/\pi \cdot 10^4$ stilb. En d'autres termes, 1 apostilb est la luminance d'une surface qui reçoit un éclairement de 1 lux et le reflète totalement.

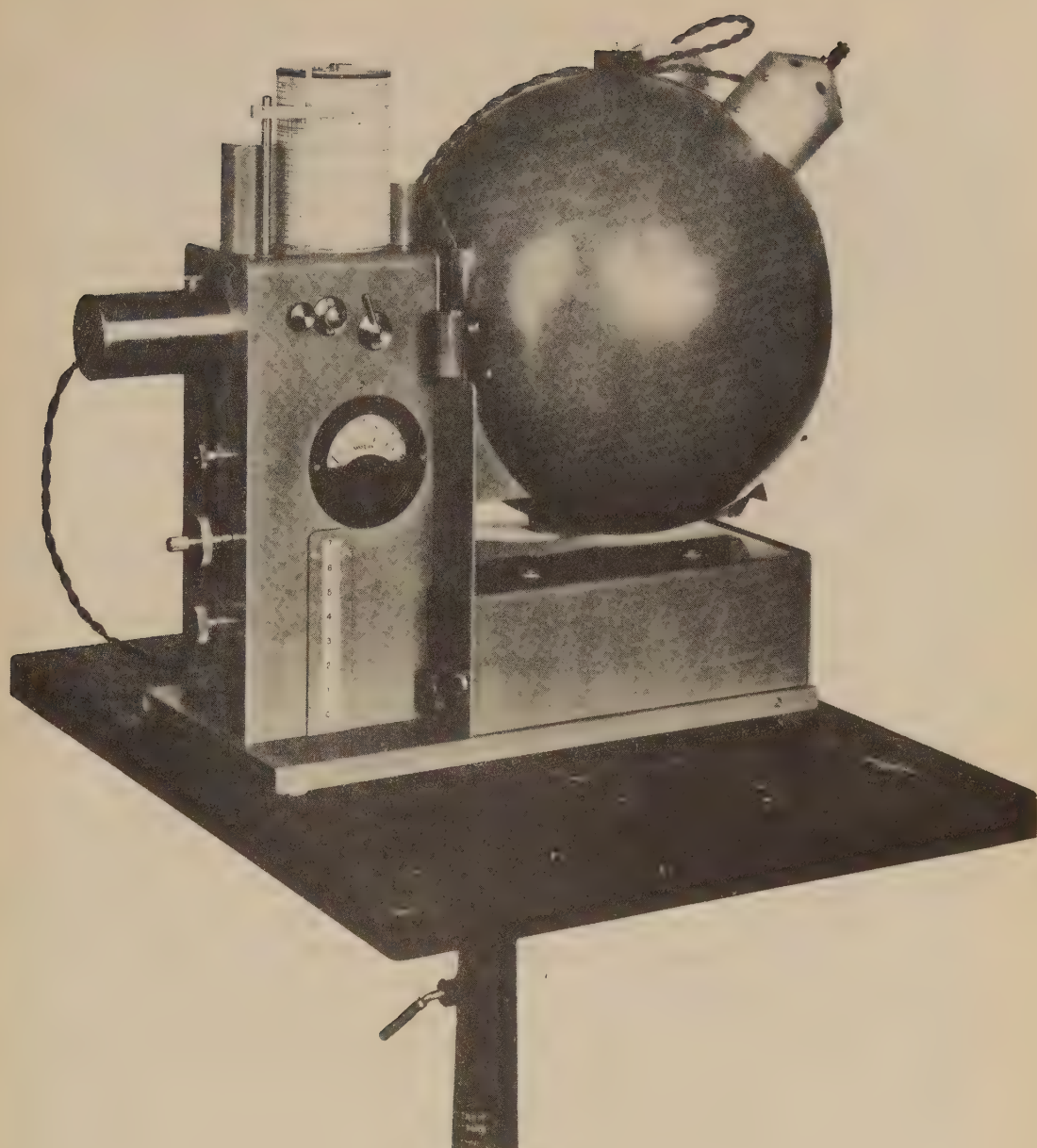


Figure 2 : L'adaptomètre de Goldman-Weekers¹.

¹) Haag-Streit, Liebefeld-Berne.

Le groupe de sujets examinés.

Dans le but que nous nous sommes proposé, c'est-à-dire de déterminer une courbe standard ainsi que les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité, nous avons pratiqué 20 examens adaptométriques (20 courbes d'adaptation à l'obscurité) chez un groupe de 20 sujets normaux (amétropies de -2,25 à +3,00 dioptries admises) de 12 à 47 ans. L'âge médian du groupe est 25 ans ; l'âge moyen est 35 ans.

Les conditions de l'examen.

Les courbes d'adaptation à l'obscurité varient avec les conditions de l'examen. L'examen adaptométrique exige donc des conditions définies. Nous avons effectué les 20 examens dans les conditions suivantes :

1. La pupille est fixée en mydriase (18 cas à l'homatropine, 2 cas à la néosynéphrine). Notre mydriatique préféré est l'homatropine ; dans 2 cas la fixation pupillaire a été suffisante à la néosynéphrine (figure 3).
2. L'examen est monoculaire. (L'autre œil est couvert par un bandeau noir).
3. 15 minutes de préadaptation à l'obscurité.
4. 5 minutes (± 15 secondes) d'éclairement préalable (ou d'adaptation préalable à la lumière). La sphère est éclairée à 2000 lux (lumière blanche), ce qui correspond à une luminance de la surface intérieure de la sphère de 1400 apostilbs¹.
5. La plage test est un disque de verre opale de 12° strié blanc et noir de 100% de contraste (c'est-à-dire, les stries noires sont opaques). La plage test est éclairée par la lumière blanche ; on peut varier l'éclairement de la plage test de 6 à 6×10^{-7} lux, ce qui correspond à une luminance des stries blanches de la plage test de $0,55 \times 6$ à $0,55 \times 6 \times 10^{-7}$ apostilbs².
6. Il n'y a pas de point à fixer. (L'œil est libre de chercher la plage test.) L'examen est donc global.

¹) Le facteur de luminance de la surface intérieure de la sphère est 0,70 ; $2000 \times 0,70 = 1400$.

²) Le facteur de transmission diffuse des stries blanches de la plage test est 0,55.

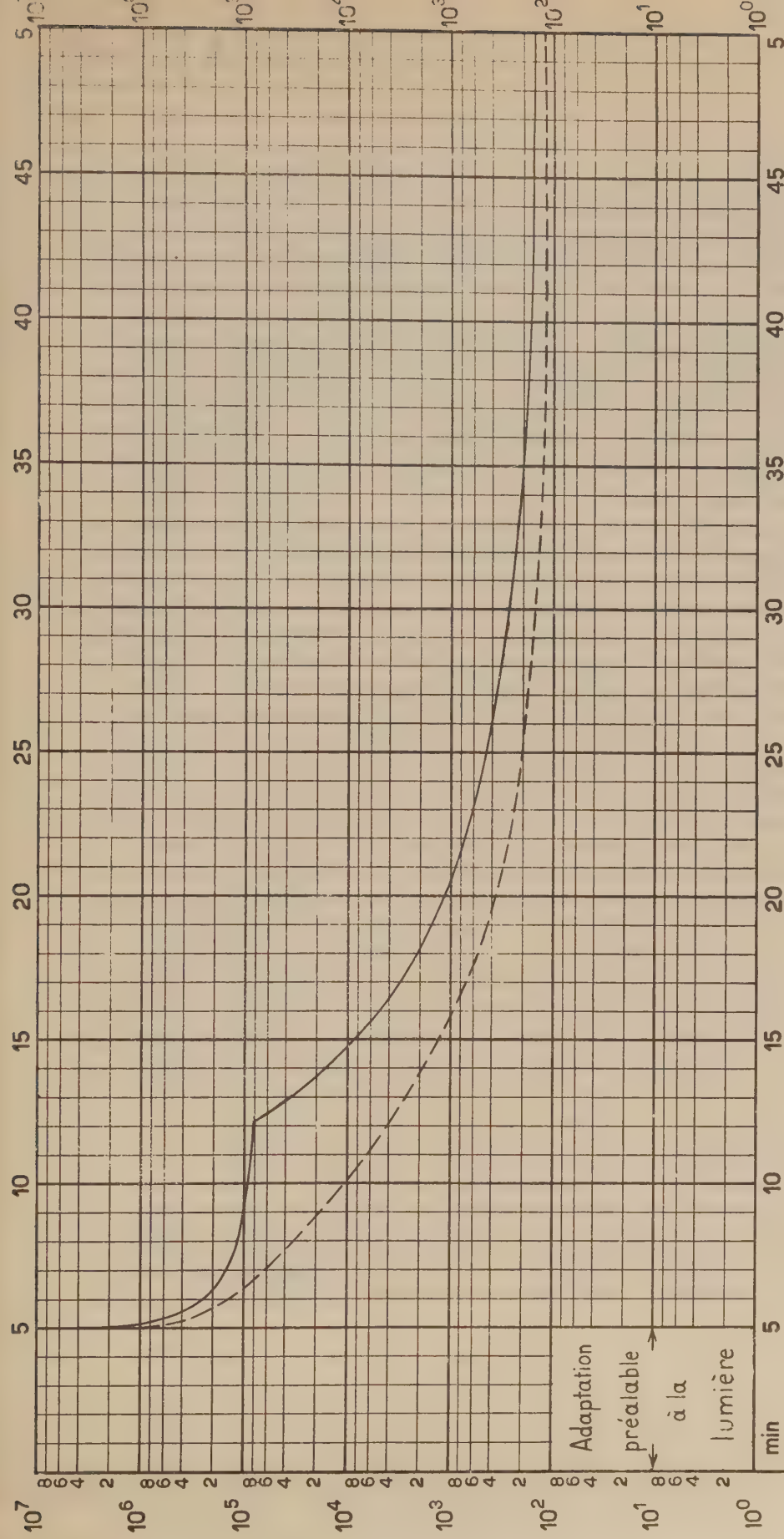


Figure 3 — En ———, courbe d'adaptation à l'obscurité avec pupille en mydriase d'un sujet normal de 43 ans. Les conditions de l'examen sont décrites dans le texte. En - - - - -, la courbe d'adaptation à l'obscurité avec la pupille libre (le sujet, l'œil examiné, et toutes les autres conditions de l'examen restent les mêmes): les deux tronçons sont masqués. Les deux courbes ont été relevées successivement et réunies sur un même graphique.

Le déroulement de l'examen.

La pupille de l'œil à examiner est fixée en mydriase ; l'autre œil est couvert par une banderole noire. Le sujet est assis devant l'adaptomètre pendant 15 minutes dans l'obscurité (la préadaptation à l'obscurité) ; après 15 minutes et toujours dans l'obscurité, on lui demande de regarder l'intérieur de la sphère en s'appuyant sur l'appui-menton. On met en marche l'appareil à l'éclairage minimum (6×10^{-7} lux, lumière blanche) de la plage test (striée blanc et noir, 100 % de contraste) qui ferme l'ouverture postérieure de la sphère. On demande au sujet de nous signaler le moment précis où il perçoit les stries de la plage test. L'éclairage de la plage test au départ étant au minimum, le sujet ne perçoit encore rien ; on augmente peu à peu l'éclairage, et par conséquent la luminance de la plage test, jusqu'à l'instant où le sujet perçoit les stries blanches et noires : c'est le seuil différentiel¹. (On peut vérifier les dires du sujet en lui demandant d'indiquer le sens des stries que l'examineur peut varier et contrôler [horizontales, obliques, verticales]). Recommençant de l'éclairage minimum, on cherche le seuil différentiel plusieurs fois pour entraîner le sujet. Au dernier essai (et avant zéro minute du graphique) l'examineur enregistre un point correspondant au seuil différentiel ; cela indique le degré d'adaptation à l'obscurité au départ de l'examen adaptométrique. (Pratiquement la préadaptation à l'obscurité est complète après 15 minutes.)

Le seuil relevé, le rideau métallique ferme l'ouverture postérieure de la sphère, couvrant ainsi la plage test. A zéro minute (on enregistre un point sur le graphique) la sphère est éclairée à 2000 lux, c'est le début de l'éclairement préalable. On demande au sujet de s'efforcer de garder l'œil ouvert pour assurer un éclairement maximum de l'œil. Après 5 minutes, on éteint l'éclairement de la sphère (on enregistre un point sur le graphique) et on libère la plage test éclairée à environ $0,6 \times 6$ lux ; c'est le début de l'adaptation à l'obscurité. Aussitôt que le sujet perçoit les stries de la plage test on enregistre un point sur le graphique. Puis, environ une fois toutes les minutes, l'examineur cherche le seuil différentiel et enregistre les réponses pendant 45 minutes. L'examen terminé, les points sont réunis en une courbe d'adaptation à l'obscurité.

¹) Théoriquement, le sujet perçoit la lumière brute (une lueur) avant (c'est-à-dire à une luminance moins élevée) de percevoir les stries blanches et noires : c'est le seuil lumineux brut (ou seuil absolu). En pratique (avec plage test de 12° et 100 % de contraste) seuil lumineux brut et seuil différentiel sont très voisins et difficiles à séparer. Le seuil lumineux brut et le seuil différentiel sont des seuils élémentaires dits « sensoriels » à distinguer des seuils « psycho-sensoriels » plus complexes. Voir « Valeurs comparatives des seuils sensoriels et des seuils psycho-sensoriels » par Jayle, Camo, et Ansaldi ; Rev. Oto-neuro-ophth., 26, 93, 54.

LA DETERMINATION MATHEMATIQUE DE LA COURBE STANDARD ET LES LIMITES DES VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A L'OBSCURITE

De nombreuses recherches ont été consacrées en vue de déterminer une courbe standard (courbe moyenne) et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité. Nous n'allons pas entreprendre une étude détaillée de toutes ces recherches. Nous nous proposons simplement de décrire les méthodes qui dans le passé ont été employées à cette fin, de citer quelques exemples, et enfin de décrire en détail la méthode que nous avons employée.

1. *La méthode graphique* consiste à tracer sur un graphique unique la totalité des courbes d'adaptation à l'obscurité obtenues et à délimiter empiriquement une zone englobant un pourcentage important des courbes (75 % à 100 %). Les limites choisies constituent les limites des variations physiologiques pour le pourcentage correspondant des cas (75 % à 100 %). Les bases mathématiques d'une telle méthode empirique sont douteuses.

Ainsi, HECHT et MANDELBAUM (1939) ont déterminé les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité pour 80 % des individus, à partir des courbes d'adaptation à l'obscurité d'un groupe de 110 sujets. SHEARD (1947) a obtenu, par la méthode graphique, des résultats comparables à partir des courbes d'adaptation à l'obscurité d'un groupe de 45 aviateurs. LAVERGNE (1955) a relevé des courbes d'adaptation à l'obscurité, au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers, chez 25 sujets normaux; par la méthode graphique il a fixé les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité pour la totalité des cas examinés.

2. *La méthode mathématique par l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils.* Cette méthode consiste à déterminer pour chaque point P_i de la courbe standard une valeur moyenne M_{Ai} pour l'ensemble des seuils (intensités lumineuses, $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iN}$) qui correspondent à chacun des temps donnés, $t_1, t_2, \dots, t_m$. La courbe standard (courbe moyenne) est alors donnée par les points $M_{A1}, t_1, M_{A2}, t_2, \dots, M_{Am}, t_m$.

La valeur moyenne est calculée d'après la formule :

$$M_{Ai} = \frac{\sum X_i}{N}$$

où

M_{Ai} = la moyenne arithmétique des valeurs des seuils $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iN}$
 N = le nombre des valeurs des seuils $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iN}$.

Les limites des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité sont déterminées à partir de la courbe moyenne. En effet, la déviation standard (σ) est calculée d'après la formule :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (X-M)^2}$$

et les courbes situées de part-et d'autre de la courbe moyenne à des distances de 1, 2 et 3 déviations standards correspondent aux limites des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité pour 68 %, 95,5 % et 99,7 % des cas respectivement.

MULLER (1931), MATTHEY (1933), ZAFFKE (1939), et GILJE (1945) sont parmi de nombreux auteurs qui se sont attachés à la détermination de la courbe standard et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité par l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils, méthode que FLEISCH et POSTERNAK ont démontré inexacte (voir ci-dessous).

3. *La méthode mathématique par l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils.* Cette méthode consiste à déterminer la courbe standard (courbe moyenne) et les limites des variations physiologiques d'adaptation l'obscurité à partir de l'ensemble des *logarithmes des seuils*. La courbe moyenne et les deux courbes limites sont déterminées par l'emploi des mêmes formules que celles décrites dans la méthode précédente, mais en substituant les logarithmes des seuils (M_G) est calculée d'après la formule :

$$M_{Gi} = \sqrt[N]{X_{i1} \cdot X_{i2} \cdot X_{i3} \dots X_{iN}}$$

donc

$$\log M_{Gi} = \frac{\sum \log X_i}{N}$$

qui n'est autre que la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils, $\log X_i$. En d'autres termes la *moyenne arithmétique des logarithmes des seuils* correspond au *logarithme de la moyenne géométrique des seuils*.

En 1943, FLEISCH et POSTERNAK ont été les premiers à déterminer la courbe standard et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité par l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils. Ils ont constaté que l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils ne se justifiait que pour une distribution normale de l'ensemble des seuils relevés (pour chacun des temps donnés); et ils ont observé qu'en fait la distribution de l'ensemble des seuils relevés (pour un temps donné) était manifestement asymétrique. Par contre, la distri-

bution de l'ensemble des logarithmes des seuils (pour un temps donné) correspondait à une distribution plus ou moins normale, ce qui justifiait l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils (ou le logarithme de la moyenne géométrique des seuils). Ces auteurs ont construit deux courbes standard, l'une par l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils, et l'autre par l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils, à partir des courbes d'adaptation à l'obscurité d'un groupe de 89 enfants. Ainsi, ils ont démontré l'erreur que l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils comportait. Ils ont ensuite déterminé les limites des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité pour 68% (1 déviation standard) des individus, à partir de la courbe standard déterminée par l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils.

La méthode mathématique que nous avons employée, et que nous décrivons en détail (voir plus loin), comporte l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des logarithmes des seuils (*log log seuil*). Monsieur le Professeur A. LINDER nous a indiqué cette méthode parce que l'analyse statistique de nos données adaptométriques montre que la distribution de l'ensemble des logarithmes des seuils, correspondant à un temps déterminé, est asymétrique; l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils ne se justifierait pas. Par contre, la distribution de l'ensemble des logarithmes des logarithmes des seuils, pour un temps donné, est approximativement normale; l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des logarithmes des seuils est donc indiqué. La transformation *log log* des seuils s'impose pour une autre raison également. Elle nous permet de représenter la courbe d'adaptation à l'obscurité par une droite, pourvu que nous prenions comme abscisse les *log* des temps. La courbe d'adaptation à l'obscurité est ainsi assimilée à une courbe de type analytique,

$$y = a e^{\frac{b}{(t-c)^d}}$$

où *y* représente la valeur du seuil, *t* le temps et *a*, *b*, *c*, *d* des constantes. Des formules analogues ont été utilisées à plusieurs reprises dans les sciences naturelles et actuarielles¹.

¹) Nous sommes extrêmement reconnaissant à Monsieur le Professeur A. LINDER directeur du Laboratoire universitaire de Statistique mathématique, et à son assistant Monsieur K. ABT pour l'indispensable travail statistique qu'ils ont bien voulu accomplir pour nous.

LA DETERMINATION MATHEMATIQUE DE LA COURBE STANDARD ET LES
LIMITES DES VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A L'OBSCURITE
AU MOYEN DE L'ADAPTOMETRE DE GOLDMANN-WEEKERS

Le but de cette recherche est de déterminer une courbe standard (courbe moyenne) et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. C'est parce que nous avons besoin de ces données pour ce nouvel adaptomètre que nous utilisons en clinique, que nous avons entrepris ce travail.

Dans ce but nous avons effectué 20 examens d'adaptation à l'obscurité (de 45 minutes chacun) au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers, chez un groupe de 20 sujets normaux de 12 à 47 ans, dans les conditions que nous avons décrites ci-dessus (voir Technique).

Pendant les 20 examens d'adaptation à l'obscurité que nous avons effectués, nous avons enregistré un ensemble de seuils qui peut être représenté, dans le plan, comme un ensemble de points $P_i(t_i, z_i)$

où t_i = abscisse, temps (en minutes)

z_i = ordonnée, log du seuil de luminance (en apostilbs)

Nous nous proposons de déterminer une courbe moyenne (courbe normale, standard), ainsi que des limites fiduciaires¹.

La répartition géométrique des points P_i justifie a priori l'ajustement de deux courbes d'adaptation à l'obscurité, relatives aux intervalles suivantes :

Courbe I pour l'intervalle $5 < t < 11$ minutes

Courbe II pour l'intervalle $14 < t < 50$ minutes

L'instant auquel a lieu le passage du tronçon I au tronçon II de cette courbe d'adaptation à l'obscurité, varie considérablement d'un sujet à l'autre, aussi avons-nous laissé de côté les valeurs z_i correspondant à des temps $11 < t < 14$ minutes (voir ci-dessous)².

¹) Pour une étude approfondie de la méthode, voir : A. LINDER: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure (1951). Birkhäuser, Bâle.

²) Nous renvoyons à plus tard l'analyse de ces Points P_i pour $11 < t < 14$, les problèmes soulevés par eux dépassant le cadre du travail actuel.

Nous avons reporté les points $P_i (t_i, z_i)$ dans un système de deux axes orthogonaux à échelle logarithmique chacun. Cette double transformation logarithmique a pour effet d'une part d'amener l'ensemble des points à une configuration plus ou moins linéaire; d'autre part, elle réduit à une distribution approximativement normale les différentes ordonnées correspondant à une abscisse donnée. En effet, quoique les valeurs z_i soient déjà des logarithmes, leur distribution, pour une certaine valeur déterminée de l'abscisse, demeure asymétrique: ainsi, la répartition des points est plus dense du côté des petites ordonnées que du côté des grandes.

La transformation la plus appropriée se trouve être la suivante :

$$\begin{aligned} \text{pour I} \quad x &= \log (t - t_{0I}) = \log (t - 4,5) \\ y &= \log (z - z_{0I}) = \log (z - 4,3750) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pour II} \quad x &= \log (t - t_{0II}) = \log (t - 5) \\ y &= \log (z - z_{0II}) = \log (z - 1,8125) \end{aligned}$$

Les valeurs t_0 et z_0 déterminent la position des asymptotes (z_{0I} et z_{0II} sont les valeurs théoriques inférieures du logarithme du seuil pour I et II respectivement).

Pour la suite des calculs, les points P_i ont été répartis en classes suivant la valeur de leur abscisse :

$$\begin{aligned} \text{pour I} \quad & 5 < t < 6 \text{ min. classes de largeur } 1/3 \text{ min.} \\ & 6 < t < 11 \text{ min. classes de largeur } 1/2 \text{ min.} \\ \text{pour II} \quad & 14 < t < 25 \text{ min. classes de largeur } 1 \text{ minute} \\ & 25 < t < 50 \text{ min. classes de largeur } 2 \text{ minutes} \end{aligned}$$

La double transformation logarithmique mentionnée ayant été effectuée, nous avons déterminé, dans chacune des classes ainsi constituées, la moyenne

$$y_j = S_i y_{ij} / N_j = [S_i \log (z_{ij} - z_0)] / N_j$$

qui n'est autre que la moyenne arithmétique des valeurs $\log (z_i - z_0)$, ou le logarithme de la moyenne géométrique des valeurs $(z_i - z_0)$.

Dans chacune des parties I et II séparément, nous avons ajusté à ces moyennes une droite de régression qui a pour équation :

$$\begin{aligned} y_I &= \bar{y}_I + b_I (x - \bar{x}_I) = 2,0852 + 0,7824 (x - 0,3380) \\ y_{II} &= \bar{y}_{II} + b_{II} (x - \bar{x}_{II}) = 1,9190 + 1,5655 (x - 1,3914) \end{aligned}$$

En second lieu, il s'agit de déterminer des limites fiduciaires à 10 %.

Dans ce but nous commençons par déterminer les limites fiduciaires pour chaque classe; ce sont les points d'ordonnée

$$\bar{y}_j \pm t_{0,10} s_j$$

situés symétriquement de part et d'autre du point-moyen d'ordonnée σy_j .

On a

$$s_j = + \sqrt{S_i (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 / (N_j - 1)}$$

$t_{0,10}$ = abscisse de la distribution t de «Student» correspondant à une probabilité de dépassement de 10 %.

Dans la partie I, nous avons pu ajuster sans autre une unique droite de régression aux points représentatifs de ces limites fiduciaires; dans la partie II par contre, nous avons dû avoir recours à deux droites se rapportant respectivement aux intervalles $14 < t < 35$ minutes et $35 < t < 50$ minutes. C'est une conséquence de la plus grande variabilité, dans la seconde partie, des P_i autour des points moyens.

En dernier lieu, nous avons transposé — au moyen de transformations inverses correspondantes — les deux droites de régression ainsi que leurs limites fiduciaires, dans l'échelle originale; cela nous donne, pour équations des courbes normales (courbes moyennes) d'adaptation à l'obscurité:

$$I \dots Z_I = 4,3750 + \frac{1,3981}{(t-4,5)^{0,7824}}$$

$$II \dots Z_{II} = 1,8125 + \frac{78,1719}{(t-5)^{1,5655}}$$

La transition des limites fiduciaires pour l'intervalle $14 < t < 35$ minutes à celles pour l'intervalle $35 < t < 50$ minutes, a été faite suivant l'allure générale des courbes.

Limites fiduciaires:

$$I) \left\{ \begin{array}{l} L_{Is} = 4,3750 + \frac{1,8822}{(t-4,5)^{0,5427}} \\ L_{Ii} = 4,3750 + \frac{1,0388}{(t-4,5)^{1,0221}} \end{array} \right.$$

$$II) \left\{ \begin{array}{l} L_{IIs} = 1,8125 + \frac{45,3000}{(t-5)^{1,2030}} \\ L_{IIIi} = 1,8125 + \frac{134,9063}{(t-5)^{1,9280}} \end{array} \right. \quad (14-35)$$

$$\text{II)} \quad \left\{ \begin{array}{l} L_{\text{II}s} = 1,8125 + \frac{13,6500}{(t-5)^{0,8138}} \\ L_{\text{II}i} = 1,8125 + \frac{447,6875}{(t-5)^{2,3172}} \end{array} \right. \quad (35 - 50)$$

Quant au domaine situé entre les courbes I et II, c'est-à-dire le domaine relatif au temps $11 < t < 14$ minutes, on peut guère en dire plus que, pour chacun des 20 sujets examinés, le point de passage de la courbe I à la courbe II se trouve placé entre les deux droites joignant les limites fiduciaires d'un même côté de la courbe moyenne.

RÉSULTATS

La figure 4 nous montre la courbe moyenne (M_c) (courbe standard) d'adaptation à l'obscurité ainsi que les limites fiduciaires (supérieure [L_s] et inférieure [L_i]). Ces courbes sont données par les équations que nous avons déterminées (voir la détermination statistique ci-dessus). Les limites fiduciaires (L_s et L_i) correspondent aux limites des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité pour 90 % des cas ; 10 % des sujets normaux donnent des courbes d'adaptation à l'obscurité qui se situent en dehors de ces limites déterminées (5 % au-dessus de la limite supérieure [L_s] et 5 % en-dessous de la limite inférieure [L_i]). Les individus qui donnent des courbes d'adaptation à l'obscurité qui se situent en-dessous de la limite fiduciaire inférieure (L_i), possèdent une capacité d'adaptation à l'obscurité « supérieure » à la normale ; dans l'interprétation des courbes d'adaptation à l'obscurité pathologique, c'est donc la limite supérieure (L_s) des variations physiologiques qui nous renseigne. Nous pouvons donc affirmer dans 95 cas sur 100, qu'une courbe d'adaptation à l'obscurité donnée qui se situe au-dessus de la limite fiduciaire supérieure (L_s), est pathologique. En d'autres termes, nous pouvons dire que dans 5 cas sur 100, une telle courbe d'adaptation à l'obscurité pourrait être physiologique malgré tout.

La marge des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité, ainsi déterminée, s'étend sur 0,55 à 1,25 Unités Logarithmiques (U.L.). La marge maximum (1,25 U.L.) se situe dans la zone de temps qui correspond au début de l'adaptation des bâtonnets ; il y a deux zones de variation minima (0,55 U.L.) qui se situent, l'une dans la portion terminale du premier tronçon (qui correspond à l'adaptation pratiquement complète des cônes), et l'autre dans la portion terminale de la courbe.

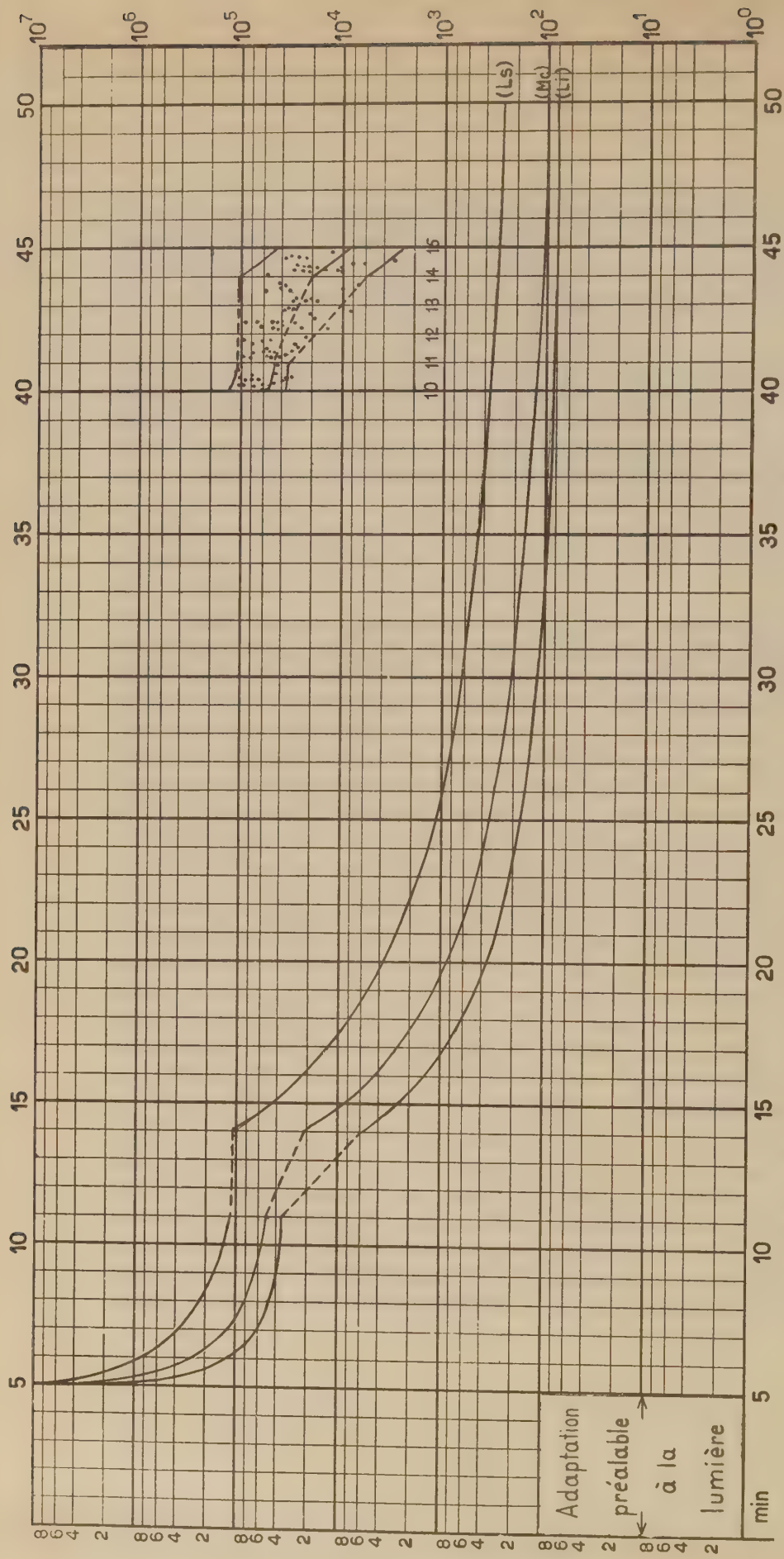


Figure 4 - La courbe standard (M_c) et les limites supérieure (L_s) et inférieure (L_i) des variations physiologiques (valable pour 90 % des cas) de l'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. *En médaillon* : la partie du graphique de 10 à 15 minutes montrant la distribution de l'ensemble des seuils enregistrés (points) chez les 20 sujets pendant cet intervalle du temps. La distribution de l'ensemble des seuils enregistrés entre 11 et 14 minutes du graphique empêche la détermination exacte du point α . Les deux tronçons (.....) de chacune des courbes L_s , M_c et L_i sont donc reliés par une droite (-----) ; pour chacun des vingt sujets examinés, le point α se trouve placé entre les droites (-----) supérieure et inférieure.

La marge de variation maximum pendant l'adaptation des cônes s'étend sur 1,0 U.L. après 30 secondes d'adaptation à l'obscurité. L'augmentation mesurable de la sensibilité de l'œil après 45 minutes d'adaptation à l'obscurité varie entre 10,000 et 100,000 fois ; et l'adaptation à l'obscurité semble être pratiquement complète (la courbe horizontale) après ce temps. Enfin, le point α varie approximativement entre 6 et 9 minutes d'adaptation à l'obscurité et une luminance de 0,0033 à 0,033 apostilbs (4 U.L. à 5 U.L. du graphique).

CONCLUSION

Plusieurs facteurs rendent difficile une comparaison des résultats des nombreux travaux qui ont été entrepris en vue de déterminer une courbe standard et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité : l'adaptomètre employé, les conditions de l'examen adaptométrique, le nombre et l'homogénéité des sujets qui constituent le groupe examiné, et la méthode du calcul à partir de l'ensemble des courbes relevées, sont tous des facteurs qui varient selon les auteurs et font varier les résultats. Ce que nous pouvons dégager de l'ensemble des résultats des différents auteurs, c'est qu'il existe une marge (minimum) des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité de 0,6 à 1,0 U.L. (la plupart des auteurs trouve une marge de variations plus grande, quelques-uns jusqu'à 2,0 U.L.); la marge des variations la plus faible se situe dans la portion terminale de la courbe, tandis que la marge des variations la plus grande se situe dans la zone de temps qui correspond au début de l'adaptation des bâtonnets. Nous pouvons donc dire que les résultats que nous avons obtenus correspondent d'une façon générale à ceux obtenus par les autres auteurs.

Nous pensons avoir rempli le but que nous nous sommes proposés, c'est-à-dire de déterminer une courbe standard et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. Nous espérons avoir apporté ainsi une contribution à l'étude des modifications pathologiques d'adaptation à l'obscurité.

RESUME

Le but de ce travail est de déterminer une courbe standard (courbe moyenne) et les limites des variations physiologiques d'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. Dans ce but nous avons relevé vingt courbes

d'adaptation à l'obscurité chez un groupe de 20 individus normaux (amétropies de -2,25 à +3,00 admises) de 12 à 47 ans. L'âge médian du groupe est 25 ans; l'âge moyen est 35 ans.

Après avoir rappelé brièvement l'histoire de l'adaptométrie, nous avons précisé les conditions dans lesquelles nous avons obtenu les vingt courbes d'adaptation à l'obscurité au moyen de l'adaptomètre de Goldmann-Weekers. Ensuite nous avons décrit trois méthodes qui ont été employées pour déterminer une courbe standard et les limites physiologiques d'adaptation à l'obscurité à partir d'un ensemble de courbes relevées :

1. La méthode graphique, méthode empirique. (Hecht et Mandelbaum, 1939.)
2. La méthode mathématique par l'emploi de la moyenne arithmétique des seuils. (Matthey, 1933.)
3. La méthode mathématique par l'emploi de la moyenne arithmétique des *logarithmes des seuils*. (Employée pour la première fois par Fleisch et Posternak, 1943.)

La méthode mathématique que nous avons employée, et que nous avons décrite en détail, comporte l'emploi de la moyenne arithmétique des *logarithmes des seuils* (*log log seuil*). Monsieur le Professeur A. Linder nous a indiqué cette méthode parce que l'analyse statistique de nos données adaptométriques (20 courbes d'adaptation à l'obscurité) montrait que la distribution de l'ensemble des logarithmes des seuils, correspondant à un temps déterminé, est asymétrique ; l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils ne se justifierait pas. Par contre, la distribution de l'ensemble des logarithmes des seuils, pour un temps donné, est approximativement normale ; l'emploi de la moyenne arithmétique des logarithmes des seuils est donc indiqué.

Ainsi, à partir de vingt courbes d'adaptation à l'obscurité relevées chez vingt sujets normaux, nous avons déterminé une courbe moyenne (courbe standard) et deux courbes limites fiduciaires (supérieure et inférieure). Les courbes limites fiduciaires correspondent aux limites des variations physiologiques de la courbe d'adaptation à l'obscurité pour 90% des cas ; 10% des courbes d'adaptation à l'obscurité relevées chez des individus normaux se situent en dehors de ces limites déterminées (5% au-dessus de la limite supérieure et 5% en-dessous de la limite inférieure).

SUMMARY

The object of this work is to determine a standard curve (mean curve) and the limits of physiological variation of dark adaptation by means of the Goldmann-Weekers adaptometer. For this purpose we performed a total of 20 dark adaptation examinations (20 dark adaptation curves) on a group of 20 normal subjects (ametropias from -2.25 to +3.00 diopters allowed) whose ages ranged from 12 to 47 years. The median age of the group was 25 years, the mean age, 35.

After having recalled briefly the history of adaptometry, we defined the conditions under which we performed the 20 dark adaptation examinations by means of the Goldmann-Weekers adaptometer. We then described the 3 methods which have been used in the past in order to determine a standard curve and the physiological limits of dark adaptation from the aggregate of dark adaptation curves from a group of normal subjects :

1. The graphic method, empirical method (e.g. Hecht and Mandelbaum, 1939.)
2. The mathematical method using the arithmetical mean of the *thresholds*. (e.g. Matthey, 1933.)
3. The mathematical method using the arithmetic mean of the *logarithms of the thresholds*. (Used for the first time by Fleisch and Posternak, 1943.)

The mathematical method which we employed and described in detail comprises the use of the *arithmetic mean of the logarithms of the logarithms of the thresholds (log log threshold)*. Professor A. Linder decided on the use of this method because the statistical analysis of our data (the results of 20 dark adaptation examinations) revealed that the distribution of the aggregate of logarithms of the thresholds, corresponding to a given time of dark adaptation, was asymmetrical: the use of the arithmetic mean of the logarithms of the thresholds would therefore not be justified. On the other hand, the distribution of the aggregate of logarithms of the logarithms of the thresholds, corresponding to a given time of dark adaptation was approximately normal: the use of the arithmetic mean of the logarithms of the logarithms of the thresholds was therefore indicated.

In this manner we determined a mean curve (standard curve) and the superior and inferior fiduciary limits, from an aggregate of 20 dark adaptation curves. The superior and inferior fiduciary limits correspond to the limits of physiological variation of the dark adaptation curve for 90% of individuals; 10% of normal dark adaptation curves are situated outside these defined limits (5% above the superior limit and 5% below the inferior limit).

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT, H.: Physiologie der Netzhaut. Breslau. E. Morgenstern, 1865, 394.
- BAILLART, P. et COUTELA, C.: La sensation lumineuse. Traité d'ophtalmologie, Masson II, 619-628, 1939.
- COLOMBO, J.: Experimenteller Beitrag zum Problem des Dämmerungssehens und der Blendung im motorisierten Strassenverkehr. Thèse de Zurich, 1955.
- DUKE-ELDER, W.S.: Adaptation. Text-book of Ophthalmology, Henry Kimpton, London, I, 943-952, 1932.
- FLEISCH, A. et POSTERNAK, J.: Standardkurve der Dunkeladaptation und deren Berechnungsmethoden. Helv. Physiol. Acta, 1, 421-436, 1943.
- GILJE, K.: Examination of dark adaptation with biophotometer as criterion of Vitamin A deficiency, Technic and standard curves. Acta Ophth., 1945, 23, 245.
- GOLDMANN, H. et WEEKERS, R.: Un nouvel adaptomètre automatique. Bulletins et Mémoires de la Soc. fr. d'Opht., 4-17, 1950.
- HECHT, S.: The dark adaptation of the human eye, J. Gen. Physiol., 1920, 2, 499.
- , The nature of foveal dark adaptation. J. Gen. Physiol., 1921, 4, 113.
- 1938, citation de Jayle et Ourgaud: La Vision nocturne et ses troubles, p. 14.
- HECHT, S. et MANDELBAUM, J.: Relation between vitamine A and dark adaptation. J.A.M.A., 1939, 112, 1910.

- JAYLE, G.E., CAMO, R. et ANSALDI, J.: L'exploration de la vision nocturne. Valeurs comparatives des seuils sensoriels et des seuils psycho-sensoriels. *Rev. Oto-neuro-opht.*, 26, 93, 1954.
- JAYLE, G.E. et OURGAUD, A.G. — La Vision nocturne et ses troubles. La société française d'ophtalmologie, Paris, Masson, 1950.
- JAYLE, G.E. et OURGAUD, A.G.: Adaptométrie globale du champ visuel et fixation du globe oculaire. *Bull. Soc. Opht. France*, 104-107, 1953.
- KOHLRAUSCH, A.: Untersuchungen mit farbigen Schwellenprüflichter über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. *Arch. f. d. ges. Physiol.*, 113, 196, 1922.
- LAVERGNE, G.: L'aptitude visuelle nocturne des conducteurs d'automobile. *Revue Médicale de Liège*, X, 2, 33-39, 1955.
- LINDER, A.: Statistische Methoden. Birkhäuser, Bâle, 1951.
- MATTHEY, G.: Eine Standardkurve der Dunkeladaptation für klinische Untersuchungen. *Arch. f. Ophth.*, 129, 275, 1933.
- MULLER, H.K.: Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufes in Kurvenform für klinische Untersuchungen. *Arch. f. Ophth.*, 125, 614, 1931.
- NAGEL, W.: Adaptation Dämmerungssehen und Duplizitätstheorie. *Handb. d. Physiol. Optk.*, 11, 264, 1911.
- PIPER, H.: Ueber Dunkeladaptation. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.*, 31, 161, 1903.
- SHEARD, C.: Citation de Jayle et Ourgaud. La Vision nocturne et ses troubles. p. 203, 205, 1950.
- ZAFFKE, K.H.: Normalkurven der Dunkeladaptation in absoluten Schwellenreizen am Birsch-Hirschfeldichtssinnprüfer. *Arch. f. Ophth.*, 140, 61, 1939.

